



TITLE:

Spatially localized self-sustaining mechanism induced by inhomogeneity in turbulence(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Teramura, Toshiki

CITATION:

Teramura, Toshiki. Spatially localized self-sustaining mechanism induced by inhomogeneity in turbulence. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19481>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	寺村 俊紀
論文題目	Spatially localized self-sustaining mechanism induced by inhomogeneity in turbulence (乱流中の非一様性により誘起された自律局在構造)		
(論文内容の要旨)			
<p>乱流現象は、時間的空間的に乱れた流体の運動状態である。素粒子の衝突実験から銀河の形成まで、流体として記述される現象はそのスケールの範囲が40桁を優に超えている。いずれにおいても乱れた状態が実現される。従って、乱流現象の解明は、現代においても物理学の重要な課題の一つである。</p> <p>乱流の理解には、統計量に着目する統計的な立場と、渦などの秩序構造の運動に着目する立場がある。秩序構造と基礎方程式の厳密解に対応関係が見いだされ、乱流の乱れ生成機構が時間周期解から定量的に記述できる例が報告されるに至り、力学系理論に基づく動力学的な方法論が急速に発展しつつあり、発達した乱流への応用が模索されている。発達した乱流においては、乱流は空間的あるいはスケールの非一様な状態で維持されるために、空間的に局在した秩序構造が注目されている。</p> <p>寺村氏の論文では、第1章において、以上の背景が述べられ、寺村氏の研究が位置付けられている。乱流中に埋め込まれていると期待される、空間的に局在した数値的な意味での厳密解を得るための一般的な処方箋について、第2章では取り扱っている。</p> <p>従来の研究においては、空間的に局在した解を求める数値的手法は、現象に応じた試行錯誤的要素が強かった。寺村氏は、基礎方程式に空間の一部を除いて線形の粘性を加える、フィルター法を提案した。フィルター法は、空間に局在した解を選択的に抽出する役割を果たす。フィルター項をもつ基礎方程式の解を基本解として用い、空間に局在した解を、ニュートン法を用いてフィルターの振幅が0となるように連続的に追跡することが可能であれば、基礎方程式の局在解を得たことになる。このフィルター法を、局在解をもつことで知られている Swift-Hohenberg (SH) 方程式及び Kuramoto-Sivashinsky (KS) 方程式に適用し、その実用性を確かめた。SH 方程式では、従来知られていたスネーク解に加え、振幅の負の側(負の散逸)を経由して追跡を続けることで、エネルギー準位が高い位相空間上で孤立した解に接続させることが可能であることを示した。また、KS 方程式では、フィルターを加えることで自由度が増し孤立波が容易に得られること、振幅0の極限は特異点となるため特異性を回避する接続条件を与えることで KS 方程式の孤立波解を得ることができることを示した。</p> <p>第3章では、2次元チャンネル乱流に対して、空間局在解の役割を検証した。2次元乱流は、層流から分岐した Tollmien-Schlichting 波が乱流化した「弱い」乱流が支配するが、「弱い」乱流と層流の境界に局在した強い乱流が存在することを見出した。この乱流界面は、フィルターを用いて局在化させても自励的に維持される。またその乱流維持機構は、壁近傍の渦層の強い吹き出しとチャンネル内部のジェットが動力学的に結合することから成り立っている。このことから、Ejection-jet-cycle (EJC) と呼ぶ。この EJC の構造や維持メカニズムを定量的に解明した。更に、この解は、上流の層流からエネルギーの供給を受け、自ら乱れを生成し、かつその下流側で「弱い」乱流を維持していること、を確認した。フィルターを用いて「弱い」乱流を減衰させても、EJC は定量的に変化しないことから、乱流界面は局在した自励系であり、かつ「弱い」乱流を維持する機能を持つ秩序構造であることを示した。</p> <p>第4章では、論文全体のまとめを行った後、空間的に非一様な乱流の解明において、この機能を持った秩序構造が果たすと期待される役割や応用について検討を行っている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

乱流現象の解明においては、乱流乱れの維持機構や乱れ輸送の解明が重要な課題となっている。基礎方程式の動力学的な特性を直接扱うことが求められるが、雑多で膨大な情報から本質的で有効な情報を抽出することが研究遂行の鍵となる。この意味で、方程式の厳密解を用いる力学系的方法論は極めて強力な研究手法である。

発達した乱流においては、空間的、スケール的な非一様性が顕著になるため、従来の空間に広がった解や対応する秩序構造は、非一様な乱流の記述には不十分である。従って、空間的に局在した解の探究や、秩序構造の位置づけの拡張が求められている。

寺村氏の研究は、この課題に取り組むものである。これまでの、空間的に局在した解の数値解法は、状況に依存した試行錯誤的な処方箋に基づくものであった。寺村氏は、フィルター法を導入することで、数値解法の一般化を行った。また、典型例に適用し、負の粘性を用いることで質的に異なる解を接続することが可能であること、粘性項を加え自由度を増やすことでニュートン法の適用が容易になること、を示すことでフィルター法の有効性を明らかにした。この成果は、今後の非一様乱流系での力学系的方法論の発展に対して寄与するものと期待される。

発達した乱流の例として2次元チャネル乱流を対象とし、空間的に局在した強い乱流生成機構が存在することを見出した。この新奇な乱流生成機構の特徴は、発達した乱流中に存在する、大きく異なる2つのスケールに対応する特徴的な秩序構造（壁近傍の渦層の吹き出しとチャネル内部のジェット）が動的に結合した自励的な秩序構造を形成している点ある。この結合条件により、乱流生成機構が空間的に局在できることを示した。また、生成機構が自励的であるのみならず、その下流側に「弱い」乱流を維持する機能を持つ秩序構造であることを明らかにした。機能を有する秩序構造という概念は、従来の厳密解と結びついた秩序構造の拡張になっており、非一様な乱流を記述するための構成要素として重要な役割を担うことが期待されるものである。

以上の研究成果は、発達した非一様な乱流に対する力学系的手法の拡張を導くものであり、今後の乱流現象の解明に礎を与えた点において高く評価できる。よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降